

## BMI 시스템 기술 현황

이상민(인하대학교)

### I. 서론

2004년도에 개봉된 ‘스파이더맨2’를 보면 옥토퍼스 박사가 거대한 로봇팔을 만들고 이 로봇팔을 자신의 의지대로 자유롭게 제어하고자 로봇팔의 제어회로부분을 자신의 소뇌(cerebellum)에 연결한다는 내용이 나온다. 뇌·기계접속(brain-machine interface, 이하 BMI) 기술의 한 응용이라고 할 수 있다. 그 이전에 BMI를 소재로 하였던 소설은 1984년 발표된 Gibson의 ‘Neuromancer’을 들 수 있다. 이 소설은 추후 사이버펑크(cyberpunk)라는 장르를 개척한 소설로 평가된다. 사이버펑크 장르에서는 주로 컴퓨터와 각종 범죄가 지배하는 폭력적인 미래의 암흑도시를 묘사하고 있다. Gibson의 소설에서는 머리에 전극을 연결하거나 머리 속에 기계를 삽입하여 사이버세계로 플로그인(plug-in)한다는 개념의 ‘jacking in’이라는 용어와 사이버세계를 지칭하는 ‘matrix’라는 신조어가 소개되었다. 이 소설에서 나온 사이버세계의 개념은 최근에 3부작으로 구성된 영화 매트릭스(matix)의 모델과 매우 유사한 내용이다.

현실 세계에 있어서 BMI는 비침습적(non-invasive) 방법을 이용하여 장애인의 재활에 다년간 사용되어 왔다. 그러나 평균화된 복합전위인 뇌파로부터 의지와 운동에 대한 구체적인 신경정보를 추출, 활용하는 것은 한계가 있다. 컴퓨터와 반도체 기술의 발달에 힘입어 뇌의 특정지역에 이식할 수 있는 미세전극이 개발되고 다채널 전극으로부터 기록된 많은 신경신호들을 실시간 해석하여 기계를 의지에 따라 제어하는 BMI 연구들이 국외에서 진행되고 있다.

본 고에서는 BMI 시스템기술 및 국내외 연구동향에 대하여 고찰하고자 한다.

### II. BMI 시스템 기술

#### 1. 기술정의 및 개요

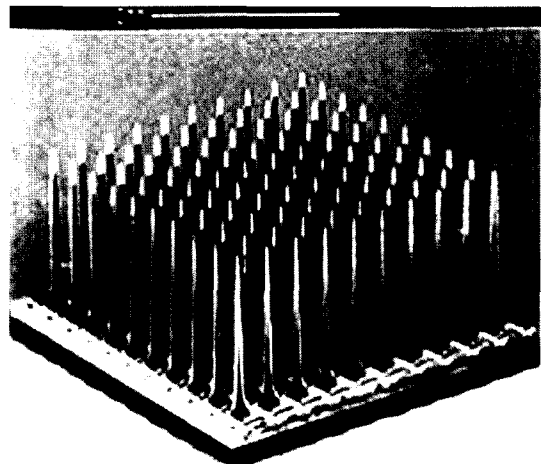
뇌·기계접속(BMI)은 때로는 뇌-컴퓨터접속(brain-computer interface, 이하 BCI) 혹은 뉴런직접접속(direct neural interface)이라고도 불리는데 사람이나 동물 (혹은 배양된 뇌세포)

과 외부기기와의 직접적인 접속으로 통신통로를 제공하는 기술을 의미한다.<sup>11)</sup> 시각자극이나 청각자극이 뇌로 전달되는 것과 같이 기계에 의하여 신호가 한 방향으로만 전달되는 기술이 있는 반면 기계와 뇌 사이에서 양방향으로 정보의 교환이 이루어지는 기술도 있다. 여기서 뇌의 의미는 뇌·신경계를 통칭하며 기계의 의미는 컴퓨터를 포함하여 단순한 회로나 복잡하게 설계된 반도체칩을 의미하기도 한다.

기술의 발전에 따라 전통적인 기계장치에 인간의 지능과 유사한 기능을 탑재하려는 노력들이 이어져 왔으며 이에 대한 현재까지의 결과물이 컴퓨터라 할 수 있다. 인간의 정보처리 기능, 즉 뇌 기능을 객체화 시키는 노력은 뇌와 유사한 컴퓨터를 개발하는 것이었다. 현재의 컴퓨터는 부분적으로는 뇌의 기능을 앞서고 있다. 즉, 뇌의 기억 용량보다 더 큰 기억 용량을 가진 컴퓨터, 뇌의 기억효과 보다 더 정확한 기억을 해 낼 수 있는 컴퓨터 등이 이에 해당된다. 컴퓨터 기술과 의학기술이 진보함에 따라 뇌·기계접속 기술도 발전되어 왔다. 특히 달팽이관(cochlea) 내의 청각센서인 헤어셀(hair cell)이 손상된 환자의 경우 인공와우(artificial cochlea)를 체내이식함으로써 말소리에 의한 의사소통이 가능하게 되었다. 이 기술은 현재 상용화되어 10만명 이상이 인공와우 수술을 받았다. 넓은 의미의 BMI는 뇌, 중추 및 말초신경계와 연결되는 다양한 기계장치를 의미하지만, 본 고에서는 BMI의 범위를 좁은 의미의 뇌(즉, 뇌와 중추신경계)와 관련된 기계접속에 국한하여 설명하고자 한다.

BMI에 대한 연구는 1970년대부터 시작되었으나 1990년대 중반에 이르기까지 사람에

대하여 시술이 되지 못하고 있었다. 최근에 일부 기기들이 동물실험을 거쳐서 사람에게 적용 가능한 상태에 와 있다. 예를 들어 손상된 청력, 시력, 운동 등의 기능을 일부 대체하거나 보완하는 기능을 가진 기기들이 개발되고 기기의 인체안정성이 확보되면서 제한된 사람들에게 적용되고 있는 것이다. 그러나 이 기기들의 대부분은 말초신경계와 연결되어 있거나 인체와의 상호동작 메커니즘에 대한 규명이 매우 빈약하다. 본 고의 주된 관심인 좁은 의미의 뇌와 직접 연결되는 BMI기술은 아직도 사람에 적용되기에는 많은 제약을 가지고 있다. 뇌에 접속하는 많은 연구들의 공통적 내용은 뇌의 피질가소성(cortical plasticity)과 관련이 있다. 피질가소성은 뇌의 피질에서 발현되는 가소성을 의미한다. 가소성은 역할의 변화를 유발하는데 BMI는 피질가소성을 이용하여 체내삽입된 인공보철물들(prostheses)을 이용하여 자신의 팔을 동작시키듯이 로봇 팔의 동작을 조절할 수 있게 한다.



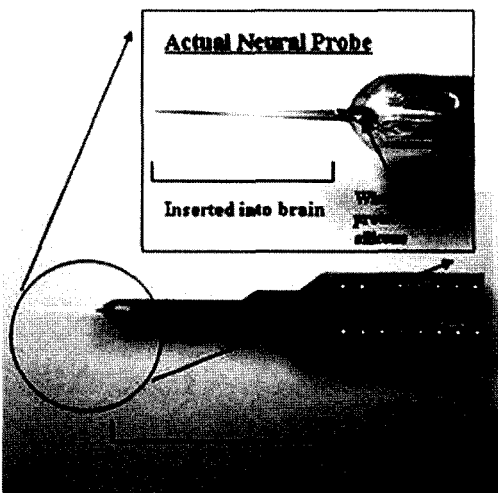
〈그림 1〉 유타전극 외관

## 2. 요소기술

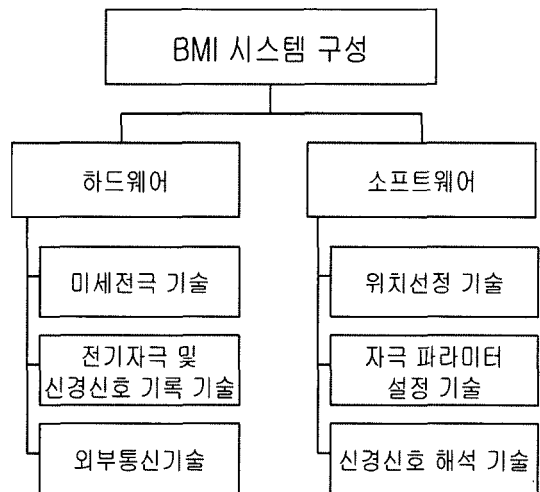
BMI 시스템을 이루는 기술은 개략적으로 하드웨어적인 측면과 소프트웨어적인 측면으로 나누어 볼 수 있다(그림 3 참조). 하드웨어 측면으로는 미세전극기술, 전기자극 및 신경신호 기록 기술, 외부통신기술로 나눌 수 있다. 현재 BMI에 사용되는 미세전극은 유타대학에서 개발된 유타전극(Utah Electrode)과 미시간대학에서 개발한 미시간전극(Michigan Electrode)가 있다. <그림 1>에서 보듯이 유타전극어레이는 2차원 전극 어레이로서 높이가 있는 3차원 구조를 가지고 있다. 대뇌 피질의 여러 영역에서 동시에 신경신호를 기록하기에 적합한 구조를 가지고 있다. 표준형은 4\*4 mm 넓이에 높이 1.5mm의 100 개의 전극이 2차원 배열된 구조를 가진다. 미시간 전극은 2차원적 전극 어레이로서 <그림 2>에서 보듯이 실리콘기반에 전극이 배열된 형태이다. 현재 NeuroNexus Technologies라는 회사가 미시간

대학으로부터 기술이전을 받아, 유사한 구조의 다양한 형태의 전극을 생산하고 있다. 미세전극기술은 반도체기술의 발전에 의해 사람에게 사용가능한 정도의 전극으로 제조되고 있기는 하지만 아직도 생체 결합성과 적합성, 체내에서의 견고성 등을 향상하기 위한 노력들이 요구되고 있다.

전기자극 및 신경신호 기록기술은 비교적 안정화된 기술이다. 페이스메이커(pacemaker), 인공와우(artificial cochlea) 등의 기술 발전과 더불어 전기자극을 위한 회로기술, 기기로부터 물질유출에 대한 차폐기술, 생체적합성을 위한 물질 선택 및 제조 기술들이 매우 발전되어 있다. 신경신호 기록을 위한 인터페이스 회로기술, 증폭기술 들도 충분히 소형화 되어 있지는 않지만 비교적 안정적으로 신경신호를 기록하고 있다. 현재 BMI에 있어서 신경에 대한 전기자극보다는 신경신호를 기록하는 것이 주된 역할이지만 하드웨어 시스템 입장에서 보면 같은 기술군에 속한다고 할 수 있겠다.



<그림 2> 미시간전극 외관



<그림 3> BMI기술의 개략적 분류도



현재 외부통신기술은 유선으로 연결되어 있다. 무선에 의한 외부통신은 아직 뚜렷하게 구현되어 있지는 못하다. 필요성의 절실성이 다른 기술에 비하여 떨어져서 그렇다고도 볼 수 있다. 즉, BMI를 통해 기록된 신호에 대한 외부 무선통신에 대한 필요성보다는 기록된 뇌 신호의 해석이 더 중요한 문제이기 때문이다. 그러나 동물실험의 경우나 사람실험의 경우 유선다발로 목적하게 연결된 기록시스템은 피험동물이나 피험자의 행동에 제약을 주고 있으므로 외부와 무선통신의 필요성은 비교적 높다고 할 수 있다. 실질적으로 무선통신의 경우 통신 혹은 전자파에 의한 뇌의 부분적 온도 증가가 우려되는 등 생체의 내외를 연결하는 무선통신의 경우도 부작용없이 구현하는 것은 쉽지 않은 연구주제가 될 것이다.

한편 소프트웨어적인 측면으로는 체내삽입을 위한 위치선정기술, 적절한 자극 파라미터 설정기술, 신경신호 해석기술을 생각할 수 있다. 전극과 체내기의 위치선정, 특히 전극의 위치선정기술은 자극기로서 뿐 아니라 기록기로서도 매우 중요한 사항이 된다. 적절한 위치를 찾아내는 기술과 더불어 정확한 위치로 삽입하는 기술이 요구된다. 자극기로서는 적절한 자극 파라미터 설정 기술이 필요하다. 이는 환자별, 질환별 방대한 데이터베이스가 구축되어야 가능한 것이지만, 인체에 대한 전기 자극의 방법 및 효과와 같은 기초과학적 연구가 병행되어야 하는 분야이다. 신경신호해석 기술은 그동안 많은 연구자들이 연구한 분야이며 원숭이를 이용한 로봇팔 동작 조정 등의 성과를 보이고 있다. 단일 뉴런의 발화(firing) 특성과 집단적 뉴런앙상블(neural ensemble)의 특성을 해석하는 연구들이 많이 진행되고 있

다.<sup>[2][3]</sup> 뉴런앙상블은 신경계 세포들(또는 배열된 뉴런들)의 모집단들이 특정한 신경활동에 의한 특정한 뉴런들의 발화 활동과 관련 있다는 사실에 근거하여 통계적으로 발화특성을 해석하는 기법이다. 그러나 아직도 사람의 의지와 관련된 신경신호들의 발화와 전달특성에 대한 많은 부분은 정확한 해석이 이루어지지 않고 있다.

### III. 국내외 연구 동향

BMI의 연구분야는 적용 대상 부위에 따라 다소 다르기는 하지만 기본적인 기술과 연구 방법은 크게 다르지 않다. 그러므로 연구동향 역시 크게 다르지 않다. 대부분의 경우, 동물을 대상으로 한 실험을 선행한 후에 이 실험을 구성하는 시스템적 요소들을 사람에게 적용하여 연구를 진행하고 있다. 동물실험에 앞서 있는 연구기관이 사람을 대상으로 하는 실험에도 앞서 있을 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 본 고에서는 동물실험과 사람실험에 대한 국외동향과 국내동향을 정리하였다.

#### 1. 동물에 대한 국외 BMI 기술

1970년대부터 원숭이나 고양이의 대뇌의 운동피질에 있는 뉴런들로부터 나오는 신호를 분석하여 뇌의 활동과 몸의 움직임에 대한 정보를 재구성하려는 알고리즘들이 개발되어 왔다. 동물들을 유도된 동작을 하도록 훈련을 시킨 후에 이 동작을 하는 동안 운동피질의 뉴런들이 발화하는 신호를 기록하고 분석하는 연구를 하여왔다.<sup>[4]</sup> 1980년대 들어서도 존스

홉킨스 대학을 비롯한 여러 연구팀들이 원숭이 등을 이용한 실험들이 진행되었지만 공학 기술의 한계로 인하여 생체내에서 살아 있는 많은 뉴런들의 신호들을 동시에 기록하지는 못하였다.<sup>[5]</sup>

1990년대 들어서 BMI기술이 급속하게 발전하게 되었다.<sup>[6]</sup> 반도체 공정을 이용한 미세 전극 제조기술이 급격히 발전하고 고성능 컴퓨터 및 신호처리용 반도체 칩들의 개발로 BMI 시스템이 개발되면서 많은 연구자들이 이들 시스템을 이용하여 뇌과학에 관한 연구를 수행할 수 있게 되었다. 따라서 의학자나 공학자가 아닌 연구자들도 BMI기술을 선도할 수 있게 되었으며 뇌과학을 한층 발전시키는 기틀이 마련되었다.

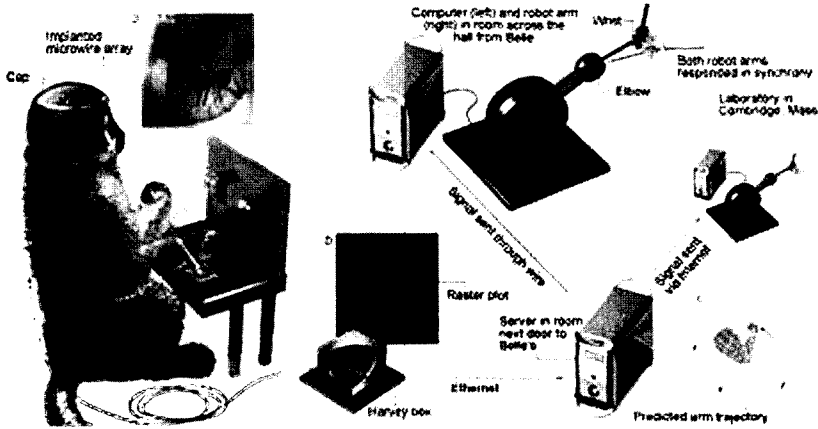
2000년대 들어서면서 1990년대 도출된 결과들과 이 기간동안에 축적된 실험기술을 이용한 괄목할 만한 결과들이 발표되고 있다. 듀크대학의 Nicolelis 연구팀은 원숭이의 대뇌운동중추에 분포된 신경세포집단의 신호로부터 손의 움직임에 관한 신호를 추출하고 해석하여 원숭이의 생각을 로봇팔의 움직임으로 구현하는데 성공하였다.<sup>[6]</sup> 또한 해석된 신호를 인터넷을 통하여 송신하여 멀리 떨어진 MIT 대학으로 보내서 실시간 원격으로 MIT 대학에 있는 로봇팔을 움직이도록 하였다. 이 연구는 전세계 주요 언론에 의해 21세기 신기술로 보도되기도 하였다. <그림 4>에 실험에 대한 개요를 나타내었다. 이때의 연구 결과는 개루프형(open-loop)BMI 시스템이었다. 즉 원숭이는 로봇팔의 동작을 인식할 수 있거나 동작에 대한 어떠한 피드백도 받을 수 없었던 시스템이다. 이후 연속된 실험에서 Nicolelis 연구팀은 원숭이의 실험을 폐루프(closed-loop)

BMI로 발전을 시키는 연구에 성공하여 원숭이들이 로봇을 직접 보게 하면서 로봇팔을 보면서 움직이게 만드는 방법을 훈련시켰다. 그럼으로써 BMI를 통하여 원숭이가 팔을 뺀고 동시에 힘조절을 하면서 움켜쥐는 동작을 하도록 하는 실험에 성공하였다.

브라운 대학의 존 도나휴(John Donoghue) 교수도 위와 비슷한 뇌-컴퓨터 접속 연구를 수행하였다. 그의 연구팀은 훈련된 원숭이가 조이스틱을 움직일때 발생하는 대뇌의 신호를 해석하여 컴퓨터 스크린상의 시각적 목표를 추적하는 결과를 발표하였다.<sup>[7]</sup> 도나휴 교수는 Cyberkinetics라는 회사를 설립하고 Brain Gate란 뇌·컴퓨터접속 시스템을 개발하여 전세계 의료시장에 판매하고자 노력하고 있다.

피츠버그대학의 신경생물학자인 Schwartz 연구팀은 가상현실에서 3차원적 추적을 위한 BMI 시스템을 개발하고 있다.<sup>[8]</sup> 원숭이가 BMI를 이용하여 생각으로 로봇팔을 제어하여 스스로 호박을 먹는 시연을 구현함으로써 세상을 깜짝 놀라게 하였다.

동물들을 대상으로 한 BMI 기술은 대부분이 침습적인(invasive) 방법이었다. 또한 대부분이 운동에 관한 내용이었다. 이것은 실험을 하면서 동물들과 주관적인 의사소통을 할 수 없기 때문이다. 그러나 몇몇 연구들은 감각(청각·시각)에 관한 연구들도 있었다. 1999년에 하버드대학의 Garrett Stanley는 뉴런들의 발화를 분석하여 고양이가 보고 있는 영상을 재구성하였다. 입력되는 감각들이 집속되어 있는 고양이의 시상(thalamus)에 177개의 전극을 위치시키고 신호를 기록하였다. 기록된 신호를 해석하여 고양이가 보고 있는 동영상을 재구성하여 구분이 가능한 영상 장면들을



〈그림 4〉 원숭이 BMI실험 개념도 (듀크대학의 Nicolelis 연구팀)

재구성하였다.<sup>[8]</sup> 청각에 대한 BMI는 주로 인공와우에 전극을 체내삽입하는 형태의 연구들이었는데 최근에는 뇌간(brain stem)에 전극을 삽입하거나 하구(inferior colliculus)에 전극을 삽입하여 소리의 전달을 분석, 재현하는 연구를 진행하고 있다.

## 2. 사람에 대한 국외 BMI 기술

사람에 대한 연구는 전통적으로 비침습적인(non-invasive) 방법이 행하여져 왔다. 비침습적인(non-invasive) 방법으로는 초기에는 뇌전도(electroencephalography, 이하 EEG) 기술이 이용되다 최근에는 영상장치들을 이용한 신경영상(neural image)을 병행하여 사용하고 있다. EEG의 경우 머리의 두피에 전극을 부착하여 뇌파를 측정하는 것으로서 사용하기 간편하고, 인체에 유해하지 않고, 실험 셋업이 편리하기 때문에 많이 사용되어 왔다. 그러나 EEG를 이용한 방법은 잡음에 매우 민감하고

두개골에 의한 뇌파의 굴절, 분산, 감쇄 등으로 신호원에 대한 국소화(localization)가 어렵고 기록된 신호들은 떨어져 있는 여러 뉴런집단들로부터 기록된 신호이므로 국소적인 뇌 활동을 해석할 수가 없었다. 그러므로 기록된 뇌파를 해석하여 1차원적인 특성, 즉 어떤 과제에 대한 on/off 동작을 하는 정도의 특성만을 해석할 수 있었다. 2000년에 로체스터 대학의 Jessica Bayliss 는 정상인이 가상현실 시나리오와 연결된 헬멧을 착용하고 가상세계의 전등을 켜고 끄는 기능과 모형자동차를 출발시키고 정지시키는 기능을 조절하는 결과를 발표하였다.

뇌자도와 기능성자기공명영상을 이용한 뇌 활동 분석에 대한 많은 연구들이 발표되었다. 기능성자기공명영상을 이용한 다양한 실험을 통하여 수집된 은 데이터로부터 2사람이 생각만으로 탁구경기를 하는 것을 연출하였다.<sup>[9]</sup> 하지만 이러한 연구들은 개별적인 뉴런 혹은 아주 작은 영역에서의 소규모 뉴런 집단의 활

동에 대해서는 해석할 수 없었다.

부분 침습적인(Partially-invasive) BMI 시스템을 이용한 실험들이 진행되었다. 기기는 두 개골 내부에 시술되고 나머지는 회색질 내부가 아닌 뇌의 바깥에 위치하는 형태이다. 이러한 시스템 구성은 비침습적 BMI보다 더 높은 공간해상도를 가지는 뇌신호를 기록할 수 있다. 부분침습적 BMI는 완전 침습적(fully-invasive) BMI보다 인체 위험성은 낮지만 이 역시 두개골로 인한 신호의 감쇄, 굴절, 왜곡 현상이 발생된다. 예를 들어 electro-corticography (이하 ECoG)는 비침습적 EEG와 유사한 시스템 구성을 가지는데 차이점은 전극을 두개골 안쪽의 피질 위에 위치시키는 것이다. 사람에 대한 ECoG는 2004년에 워싱턴대학의 Eric Leuthardt에 의해 처음 시도되었는데 나중에 한 피험자가 체내삽입된 ECoG 기기를 이용하여 전자게임인 'Space Invaders' 수행하는데 성공하였다. 그러나 이러한 연구 결과에 대한 결론은 ECoG를 이용하여 1차원적 운동능력보다 복잡한 운동 BMI를 개발하기 어렵다는 것이었다.

실제적으로 마비된 사람들에게 동작능력을 제공하거나 손상된 시각을 보상하기 위해서는 침습적인(invasive) 방법의 BMI 시스템이 필요하게 되었다. 침습적인 BMI 시스템은 신경외과적 수술을 통하여 뇌의 회색질(gray matter)에 전극을 직접적으로 삽입한다. BMI가 회색질에 위치하여 질 좋은 뇌신호를 제공하는데 장기간 사용할 경우 뇌의 이물질반응에 의하여 전극의 성능이 점점 떨어지게 된다.

침습적인 방법으로 시각BMI를 개발한 사람은 William Dobbelle이다. 그는 68개의 전극을 실명한 사람의 시각피질에 체내삽입하여 빛

을 감지하는데 성공하였다. 안경에 장착된 카메라를 통하여 빛 신호를 시각피질에 삽입된 기기로 보내어 실명한 사람이 빛을 감지하고 시각과 관련된 간단한 임무를 수행하도록 하였다. Dobbelle의 인공눈은 16명의 환자에게 시술되어졌다. 그러나 결과는 매우 간단한 시각적 시험을 통과할 뿐 더 이상의 개선이 이루어지지 않았다.

뇌의 운동영역을 대상으로 한 BMI는 사지가 마비된 사람들의 움직임을 복원하거나 움직임을 지원하는 기기를 제어하는 방법을 제공하고자 한다. 예를 들어 뇌와 컴퓨터나 로봇 암을 연결하여 사지가 마비된 사람들의 생활을 지원하고자 한다. 에모리대학의 Philip Kennedy는 사람의 뇌내에 뇌임플란트를 장착시켜 그 사람의 움직임을 모방하는 동작을 수행하는데 필요한 신호를 기록하는데 성공하였다. 뇌졸중후에 사지가 마비된 환자에게 시술하여 생각으로만 컴퓨터 커서를 움직이게 만드는데 성공하였다.<sup>[10]</sup>

### 3. 국내 연구 현황

국내의 BMI 연구는 1998년도에 제정된 '뇌연구촉진법'에 의해 본격적인 정부의 지원을 받게 되었으며 2003년도 과기부의 지원을 받는 프론티어사업단으로서 '뇌기능활용 및 뇌질환치료기술개발프론티어사업단'이 출범함으로써 연구의 범위와 연구의 질이 급격히 향상되었다고 볼 수 있다. 그 이전에도 인공청각, 인공시각에 대한 연구들이 진행되었으나 국외 선진연구기관과 비교할 만한 뚜렷한 결과를 내놓지 못하고 있었다.

현재 활발하게 연구하고 있는 연구팀으로는

한림대 신형철교수, 아주대 정민환교수, 예수병원 김형일박사와 원광대 신용일교수팀, 한양대 김인영교수, 한국과학기술원 남윤기교수, 연세대 김경환교수, 한국전자통신연구원 정명애박사를 들 수 있다. 한림대 신형철교수팀은 BMI 기술에서 일반적으로 이용하는 운동중추의 신경 활동을 운동중추가 아닌 체성감각중추의 하나인 대뇌피질의 수염부위에서 쥐를 실험동물로 사용하여 시도하였다.<sup>[11]</sup> 몸으로부터 감각을 받아들이는 체성감각의 많은 정보들이 운동명령을 생성하기 위해 능동적으로 받아들여 진다 것을 기본전제로 하고 있다. 아주대의 정민환교수는 전전두피질 시냅스들의 가소성과 학습에 관한 연구를 수행하였다. 학습이 진행되는 동안 감각 및 운동신경계의 변화와 이에 따른 행동 양상을 관찰하는 동물 실험을 수행하고 있다.<sup>[12]</sup> 예수병원 김형일 박사팀은 뇌졸중 동물모델에서의 뇌 자극이 뇌졸중으로 인한 마비증상의 호전효과를 연구하고 있다. 이외 다른 연구팀들은 배양된 뇌세포의 활동신호를 기록하여 해석하는 기법, 뉴런과 직접 연결되는 반도체칩, 인체에 대한 물리적, 화학적 적합성이 탁월한 전극 개발 등에 대한 연구를 진행하고 있다.

#### IV. 기술의 응용 및 전망

브라운대학의 도나휴교수는 Cyberkinetic Neurotechnology사를 설립하였다. 이 회사는 유타전극을 기반으로하는 전극어레이를 판매하면서 상업적으로 인간에게 적용 가능한 BMI 시스템을 개발하고 있다. 1987년에 설립된 Neural Signals사는 마비환자들이 외부세계

와 의사소통할 수 있는 BMI 시스템을 개발하고 있으며 마비환자의 음성언어를 복원하는 임플란트를 판매하고 있다. 또한 이 회사는 자신들의 BMI와 뉴런 사이의 결합력을 높이기 위한 단백질이 코팅된 원추 형태의 마이크로전극을 개발하여 사용하고 있다. 과거 Dobelle의 시각 BMI는 16명의 환자에게 유료로 시술되었었던 기록이 있다. 2004년 Dobelle이 사망한 이후 새로운 임플란트 개발이 중단된 상태이지만 시각 BMI기술개발에 대한 매력은 아직도 많은 연구자들을 유혹하고 있다. 이처럼 BMI 기술을 시스템화하여 상용제품으로 개발하고자 하는 노력들이 계속적으로 일어나고 있다.

1997년부터 뇌페이스메이커(brain pacemakers)가 간질, 파킨슨병, 근긴장이상증, 우울증 환자를 대상으로 사용되고 있다. 국내에서도 파킨슨병 환자에 대한 뇌페이스메이커 시술이 증가하고 있다. 뇌페이스메이커는 뇌임플란트(brain implant)의 한 응용이며 뇌임플란트는 BMI 기술의 응용분야가 된다.

현재의 BMI 기술은 사지마비 환자등과 같이 매우 제약된 사람들을 대상으로 하고 있지만 노령화시대에는 이 기술들에 대한 적용대상은 만성질환 고령인, 감각상실환자, 뇌졸중으로 인한 마비환자 등으로 매우 넓어질 것으로 판단된다. 또한 BMI 기술은 대표적인 첨단 융합기술로서 마치 자동차나 항공기 산업이 관련 산업에 대한 큰 파급효과를 가지듯이 BMI 기술도 BT/IT/NT 기술 발전에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다.

현재 미국에서 FDA의 승인을 받은 BMI 임상실험이 진행 중이다. 인체에 대한 장기간 안정성이 확보되면 BMI의 임상실험이 더욱 활



발해 질 것이고, 이는 BMI 시스템 산업과 더불어 뇌과학 관련된 산업을 성장시키게 될 것이다. 멀지 않은 미래에 관련기술의 발전에 힘입어 BMI 시스템의 상용화가 가능할 것으로 전망된다.

## V. 맺음말

BMI기술에 대한 개요와 현황에 대하여 살펴보았다. Raymond Kurzweil 같은 미래학자들은 뇌임플란트를 인간 진화의 발전된 단계로 보고 있다. 자연적진화의 한계를 첨단기술의 도움을 받아 기능을 복원, 증강한다는 것이다. 컴퓨터와 연관된 기억용량의 무한한 증가, 기억에 대한 완벽한 재현 등이 가능해 진다는 것이다.

한편 인공뇌, 사이버세계로 인한 암울하거나 혹은 음모가 가득찬 미래상황을 우려하는 사람들이 있다. 영화 'the Ghost in the Shell' 에서 인공두뇌 임플란트 기술은 국가와 군대에 의하여 잘못 사용될 가능성이 많다는 것을 지적하고 있다. 뇌임플란트를 수술받은 인물인 주요인물에 대한 살해 명령을 받고 무조건적으로 이를 수행하는 것과 같이 거역할 수 없는 반이성적 행동을 조장할 수 있다는 것이다.

현재의 기술상황과 사회환경에서 BMI의 부작용을 논의하기는 어렵다. 실제로 파킨슨병 환자들에 대한 뇌 자극의 부작용으로서 무감각, 환각, 강박관념, 성욕과다증, 인식장애, 우울증의 가능성들이 보고 된적이 있다. 그러나 이러한 증상은 일시적이었거나 올바른 위치 선정과 자극에 대한 교정으로 곧 회복되었다.

<sup>6)</sup> BMI 기술에 대한 올바른 이해가 기술 발전

의 올바른 방향을 제시하고 핵심기술개발을 촉진하는 길잡이가 될 것이다.

## 참고문헌

- [1] Lebedev MA, Nicolelis MA, "Brain-machine interfaces : past, present and future", Trends Neurosci 29 : 536-546, 2006
- [2] Santucci, D.M., Kralik, J.D., Lebedev, M.A., Nicolelis, M.A.L, "Frontal and parietal cortical ensembles predict single-trial muscle activity during reaching movements", Eur. J. Neurosci., 22 : 1529-1540, 2005
- [3] G. B. Stanley, F. F. Li, and Y. Dan. "Reconstruction of natural scenes from ensemble responses in the LGN", J. Neurosci., 19(18) : 8036-8042, 1999
- [4] Schmidt E M et al, "Fine control of operantly conditioned firing patterns of cortical neurons", Exp. Neurol. 61 349-69, 1978
- [5] Georgopoulos AP, Lurito JT, Petrides M, Schwartz AB, Massey JT, "Mental rotation of the neuronal population vector", Science 243 : 234-236, 1989
- [6] Wessberg J, Stambaugh CR, Kralik JD, Beck PD, Laubach M, Chapin JK, Kim J, Biggs SJ, Srinivasan MA, Nicolelis MA. "Real-time prediction of hand trajectory by ensembles of cortical neurons in primates", Nature 16 : 361-365, 2000
- [7] Serruya M.D., Hatsopoulos, N.G., Paninski, L., Fellows, M.R., Donoghue, J.P., "Instant neural control of a movement signal", Nature 416 : 141-142, 2002
- [8] Taylor DM, Tillery SI, Schwartz AB, "Direct cortical control of 3D neuroprosthetic

- devices”, Science 296: 1829-1832, 2002
- [9] Article, “Mental ping-pong could aid paraplegics”, Nature, 27 August 2004
- [10] Kennedy, P.R., Bakay R.A. “Restoration of neural output from a paralysed patient by a direct brain connection”, Neuroreport. Jun 1;9(8) : 1707-11, 1998
- [11] Lee U, Lee HJ, Kim S, Shin, HC, “Development of intracranial brain-computer interface system using non-motor brain area for series of motor functions, Electronics Lett. 2006 42 : 198-200, 2006
- [12] Baeg EH, Kim YB, Huh K, Mook-Jung I, Kim HT, Jung MW., “Dynamics of population code for working memory in the prefrontal cortex”, Neuron. 40(1) : 177-88, 2003

## 저자소개



이 상 민

1987년 2월 인하대학교 전자공학과 학사  
 1989년 2월 인하대학교 전자공학 석사  
 2000년 2월 인하대학교 전자공학 박사  
 1989년 1월-1994년 7월 LG 이노텍 중앙연구  
 소선임연구원  
 1995년 1월-2002년 3월 삼성전자 삼성종합기  
 술원 책임연구원  
 2002년 4월-2005년 2월 한양대학교 의공학교실  
 연구교수  
 2005년 3월-2006년 8월 전북대학교 생체정보  
 공학부 조교수  
 2006년 9월-2007년 현재 인하대학교 전자전기  
 공학부 조교수

주관심 분야 : Biosignal processing,  
 Healthcare, Brain-Machine  
 Interface